

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Шварца К.Г. на диссертацию Евграфовой Анны Валерьевны «Крупномасштабные и вихревые структуры в неоднородно нагретых слоях жидкости», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

В диссертации Евграфовой А.В. представлены результаты экспериментальных и численных исследований вихревых течений в неподвижном и вращающемся цилиндрическом слое жидкости при наличии неоднородного нагрева от локализованного источника тепла, расположенного на дне в центре установки. Были исследованы возникающие вторичные течения в пограничном слое над локализованным источником тепла, определялся характер влияния управляющих параметров на структуру конвективного вихря во вращающемся слое жидкости, на основе численных расчетов дана физическая интерпретация механизмов возникновения вторичных структур и дан анализ распределенной спиральности.

**Актуальность темы** определяется тем, что решаемые в диссертации задачи позволяют лучше понимать сложные механизмы зарождения, эволюции и устойчивости крупномасштабных вихревых потоков, возникающих как в геофизических процессах, так и в различных технологических приложениях. Большой интерес также представляет изучение спиральности: фактора, влияющего на генерацию крупномасштабных возмущений в атмосфере и океане.

**Новизна результатов** работы обусловлена тем, что на основе лабораторных экспериментов, проведенных на оригинальной установке с использованием современных качественных приборах сбора и обработки данных, а также, одновременно, с помощью вычислительных экспериментов, сделанных с помощью программного продукта Fluent 6.3, впервые произведено детальное исследование структуры и динамики вторичных вихревых течений над локализованным источником тепла как при наличии, так и отсутствии вращения в широком диапазоне безразмерных параметров, осуществлен анализ распределенной спиральности в сложной гидродинамической системе.

**Достоверность результатов** обусловлена тестированием методов измерений и используемых алгоритмов, сравнением с результатами других авторов, а также возможностью сравнения результатов лабораторных и численных экспериментов, применением апробированных теоретических подходов и численных методов.

**Научная и практическая значимость результатов** работы заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы для параметризации процессов, протекающих в атмосферном пограничном слое в математических моделях прогноза погоды или переноса примеси вблизи локализованного источника тепла, могут быть

полезны при проектировании технологических устройств, в которых имеются течения над локализованным источником тепла. Полученные результаты важны для понимания статистических свойств спиральной турбулентности, процессов возникновения крупномасштабных вихрей в атмосфере и океане.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 161 наименование. Общий объем диссертации 128 страниц, 52 рисунка и 7 таблиц.

Во Введении представлено краткое обоснование выбора темы исследования, обосновывается актуальность темы, научная новизна, научная и практическая значимость работы. Описана методология и методы исследования, научное значение.

Глава 1 посвящена обзору литературы по теме диссертации. Представлены работы по изучению адвекции, начиная с работ Остороумова Г.А., Гершуни Г.З и др., изучению вторичных течений, конвективной неустойчивости, конвективных течений от локального источника тепла. Дан обзор экспериментальных и теоретических работ по исследованию крупномасштабных вихрей в атмосфере и океане. Представлено описание работ о роли спиральности в генерации вихревых течений.

Во второй главе изучаются конвективные структуры в адвективном потоке над локализованным источником тепла в цилиндрической области при отсутствии вращения. В первом параграфе описывается экспериментальная установка, представляющая собой цилиндрическую полость радиуса 15 см, и методику измерений. Подогрев жидкости осуществляется при помощи медного теплообменника, радиусом 5,2 см, расположенного в центре кюветы на ее дне. В качестве рабочей жидкости использовано силиконовое масло. Высота слоя жидкости 3 см. Верхняя граница свободная. Во втором параграфе описаны безразмерные управляющие параметры. В качестве таких выбрано число Прандтля, потоковое число Грасгофа и потоковое число Рэлея. В третьем параграфе приведены результаты экспериментальных исследований. Очень четко и ясно описывается структура возникающего движения жидкости и распределение температуры. В силу того, что в эксперименте сложно было сделать детальный вывод о процессах, приводящих к пространственной и временной неоднородности температуры возмущений, проводились численные расчеты. В четвертом параграфе приведена математическая постановка задачи, которая решалась численно. В пятом параграфе приведены результаты расчетов. Определена зависимость структуры течений от степени нагрева, фактически от величины потокового числа Рэлея.

В третьей главе изучаются конвективные структуры в адвективном потоке над локализованным источником тепла в цилиндрической области при наличии вращения. В

первом параграфе описана экспериментальная установка, указаны определяющие параметры задачи. Во втором параграфе представлены результаты эксперимента в виде таблиц, рисунков и описания происходящих процессов. В третьем параграфе изложена математическая постановка задачи, в четвертом параграфе - результаты численного счета.

Четвертая глава посвящена исследованию спиральности в адвективном потоке. Распределение спиральности в неподвижном цилиндрическом слое представлено в первом параграфе. Исследование показало, что, несмотря на наличие локальных возмущений спиральности, не удалось обнаружить возникновение интенсивного вихревого движения в неподвижном цилиндре. Во вращающемся же цилиндре, как показано во втором параграфе, картина существенно меняется. Максимум спиральности возникает в центральной части цилиндра, доля энергии спиральной моды составляет 20%.

В конце каждой главы диссертации сделаны выводы. Они обоснованы и отражают суть изложенного материала. Хотелось бы отметить, что особенностью этой диссертации является успешное сочетание лабораторных экспериментальных исследований с серьезными численными расчетами. Изложение работы сделано четким, грамотным языком, подтверждающий хороший научный уровень молодого исследователя. Основные положения диссертации изложены в публикациях автора, докладывались на семинарах, а также на международных и всероссийских конференциях. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

#### Замечания.

1. Несмотря на большой и содержательный обзор литературы, сделанный в первой главе, считаю, что необходимо было сослаться на работы Зимина В.Д., который первый в Пермской гидродинамической школе занялся задачами геофизической гидродинамики, сейчас эти задачи успешно продолжают исследовать его ученики.
2. Было бы интересно узнать мнение диссертанта. Если бы возможно было увеличить размеры экспериментальной установки, то можно ли было бы тогда использовать в качестве жидкости воду? Было бы это лучше, хуже?
3. В параграфах 2.4 и 3.3 в математических постановках задач краевые условия описаны только словесно, но не приведены соответствующие формулы, а начальные условия не представлены вовсе.
4. В выводах ко второй главе не достаает сравнения результатов экспериментов и результатов численных расчетов.
5. К сожалению, не обошлось без технических недостатков. Куда-то пропала часть ссылок в тексте диссертации. В автореферате неправильно проставлены номера

глав. В третьей главе диссертации на стр. 60 вместо ссылки на вторую главу  
сделана ссылка на первую главу.

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки  
диссертационной работы.

Работа в целом является законченным исследованием, она выполнена на высоком  
научном уровне, содержит решение актуальных научных задач, имеющих важное  
теоретическое и практическое значение современной гидродинамики. Тематика и  
содержание диссертации соответствует специальности 01.02.05 – «Механика жидкости,  
газа и плазмы». Работа Евграфовой Анны Валерьевны удовлетворяет критериям  
Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением  
Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а диссертант Евграфова А. В. заслуживает  
присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры прикладной математики и  
информатики Пермского государственного  
национального исследовательского университета,  
г. Пермь,  
доктор физико-математических наук

Шварц Константин Григорьевич

Адрес: 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Телефон: 89124918102.

e-mail: [kosch@psu.ru](mailto:kosch@psu.ru)



Собственноручную подпись

*К. Г. Шварца*

удостоверяю  
Работник отдела кадров

24 октября 2016 г.